

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
Institut environmentálního inženýrství

Bioakumulace těžkých kovů v tkáních měkkýšů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Eva Habramová
Vedoucí práce: Ing. Jiří Kupka, Ph.D.

OSTRAVA 2010

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY
Institute of environmental engineering

Bioaccumulation of Heavy Metals in Mollusc Tissues

BACHELOR THESIS

Author: Eva Habramová
Supervisor: Ing. Jiří Kupka, Ph.D.

OSTRAVA 2010

ABSTRAKT

Hlavními cíli mé bakalářské práce je seznámit se s problémem bioakumulace těžkých kovů v tkáních měkkýšů a poznat některé z nejvíce využívaných druhů měkkýšů pro biomonitoring.

Proměnlivost bioakumulace těžkých kovů byla široce studována v některých druzích mořských, sladkovodních a suchozemských měkkýšů. Tyto druhy měkkýšů byly vyhodnoceny jako možné biologické indikátory kontaminací kovů v životním prostředí. Analýzy prokázaly, že různé druhy bioakumulují kovy v rozdílném rozsahu. Protože jsme dobře seznámeni s ekologií měkkýšů, využíváme je pro biomonitoring. Jejich tkáně, jsou využívány k analýzám, které nám ukazují, jaké koncentrace těžkých kovů jsou obsaženy v tělech měkkýšů a okolním prostředí.

Klíčová slova: biologický indikátor, životní prostředí, biomonitoring

ABSTRACT

The main objective of this Bachelor thesis is the heavy metals bioaccumulation in mussel tissue and introduction of some species, most frequently used for biomonitoring.

The variability of the bioaccumulation of heavy metals was extensively studied in some species of marine, freshwater and terrestrial molluscs. These species of molluscs were evaluated as possible bioindicators of metal contaminations in environment. Analysis indicated that different species bioaccumulate the metals in different range. Since we are well familiar with molluscs ecology, we use them for biomonitoring. Their tissues are using for analysis which show what concentrations of heavy metals are included in mollusc's body and surrounding environment.

Keywords: bioindicator, environment, biomontoring

Prohlášení

Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byl(a) jsem byl seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně

VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 14. 4. 2010

Eva Habramová

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	PROBLEMATIKA TĚŽKÝCH KOVŮ V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ.....	2
2.1	Těžké kovy vyskytující se v životním prostředí	2
2.2	Toxicita těžkých kovů.....	6
3	ŽIVÉ ORGANISMY JAKO BIOINDIKÁTORY ZMĚN V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ SE ZAMĚŘENÍM NA TĚŽKÉ KOVY	8
3.1	Typy bioindikátorů	9
3.2	Biomonitoring životního prostředí.....	11
4	OBEČNÁ CHARAKTERISTIKA MĚKKÝŠŮ A MOŽNOSTI JEJICH VYUŽITÍ JAKO BIOINDIKÁTORŮ	13
4.1	Morfologie měkkýšů.....	13
4.2	Hlavní ekologické faktory ovlivňující malakocenózy	15
4.3	Faktory ohrožující výskyt měkkýšů.....	17
4.4	Bioindikační význam měkkýšů.....	18
5	BIOAKUMULACE TĚŽKÝCH KOVŮ V TKÁNÍCH MĚKKÝŠŮ	20
5.1	Faktory ovlivňující bioakumulaci	20
5.2	Bioakumulace v tělech mořských měkkýšů.....	21
5.3	Bioakumulace v tělech sladkovodních měkkýšů	26
5.4	Bioakumulace v tělech suchozemských měkkýšů	29
6	DISKUZE	33
7	ZÁVĚR	34
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	35

1 ÚVOD

Suchozemští a sladkovodní měkkýši Evropy čítají okolo 130 tisíc druhů. Po členovcích jsou druhým nejpočetnějším kmenem živočichů. Hrají velmi důležitou roli v životním prostředí, protože některé druhy indikují čistotu vod, jiné upozorňují na devastaci krajiny. Mezi měkkýše patří druhy, které si své měkké tělo chrání ulitami nebo lasturami různých tvarů, velikostí a barev, ale také takoví, kterým po schránce nezůstala ani stopa (DOBRORUKA, 1984).

Měkkýši jsou v dnešní době velmi používanými biologickými indikátory znečištění vodního nebo suchozemského prostředí, díky jejich tendenci akumulovat znečišťující látky pomocí žáber, kůže nebo plic. Existuje vztah mezi obsahem koncentrace látek v těle organismu a okolním prostředím, ale ten je těžké stanovit. Dostupnost kovů v tkáních vodních měkkýšů záleží také na různých faktorech, jako je např. roční období, pH, koncentrace látek nebo tvrdost vody. Z analýz jejich tkání zjistíme, v jak velké koncentraci se může daná znečišťující látka vyskytovat v prostředí, které daný zkoumaný druh obývá.

I když ve své práci píšete o vodních i suchozemských měkkýších, je má bakalářská práce zaměřena převážně na vodní, ať už mořské nebo sladkovodní druhy.

Cíle mé bakalářské práce jsou:

- Objasnit pojmy jako jsou bioindikace, biomonitoring a bioakumulace.
- Seznámit se s problematikou bioakumulace těžkých kovů v tkáních měkkýšů.
- Poznat druhy využívané k biomonitoringu v mořském, sladkovodním a suchozemském prostředí.

2 PROBLEMATIKA TĚŽKÝCH KOVŮ V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

Těžkým kovem rozumíme jakýkoliv kovový chemický prvek o relativně vysoké hustotě, který je rovněž toxický nebo jedovatý už při nízkých koncentracích, např. arsen, olovo nebo rtuť. Jsou přirozenou složkou zemské kůry a nemohou být zničeny ani degradovány. Pro organismus jsou nezbytné některé stopové prvky (např. měď nebo zinek), které ale ve vyšších koncentracích mohou vést k otravě (SARKAR, 2002).

Nebezpečí těžkých kovů spočívá v jejich sklonu k bioakumulaci. Bioakumulací se zvyšuje koncentrace chemických látek v organismu, která se srovnává s koncentrací chemických látek v životním prostředí. Látky se shromažďují v živých organismech kdykoliv jsou absorbovány a uchovávány rychleji, než jsou rozloženy nebo vyloučeny (BEEK, 2000).

Těžké kovy se mohou do vody dostat z neupravených odpadních vod z průmyslu, zemědělství nebo domácností. Rovněž mohou na zemský povrch dopadat buď v podobě kyselého deště, který rozkládá půdu a uvolňuje těžké kovy do potoků, řek a podzemních vod nebo z atmosférického spadu. I nesprávné nakládání s odpady může vést ke kontaminaci (SOOD, 1998).

2.1 Těžké kovy vyskytující se v životním prostředí

Těžké kovy, které se dostávají do životního prostředí různými činnostmi, ať už vypouštěním odpadních vod nebo z výfukových plynů, popíši níže.

Arsen

Arsen se vyskytuje v přírodě jak v ryzí formě, tak v podobě sloučenin, které převládají. Na prvním místě jsou sloučeniny arsenu s kovy, arsenidy. Většinou se nalézají v izomorfní směsi se sirníky. Nejčastěji se vyskytuje arsenopyrit, který je izomorfní směsí FeAs_2 a FeS_2 . V malém množství se vyskytuje ve většině sulfidických rud, ze kterých větrává do vod (REMY, 1971).

Obecně je arsen v přírodě rozšířen natolik, že kovy, které jsou připraveny ze sirníkových rud, jej téměř vždy obsahují. Často je obtížné tyto kovy přimíšeného arsenu zcela zbavit (VOHLÍDAL et al., 1988).

Charakteristický zápach pro arsen je po česneku. Snadno se slévá (tj. rozpouští se v roztaveném kovu) s jinými kovy, a to i s těmi, se kterými netvoří sloučeniny. Ztuhlé slitiny jsou velmi křehké, a to i při malém obsahu arsenu (VOHLÍDAL et al., 1988).

Je značně toxický, chronická toxicita. Sloučeniny As^{III} jsou 5 až 20 krát toxičtější než As^{V} . Inhibitor biochemických oxidací, karcinogen, kumulativní nervový jed (JURSÍK, 2002).

Arsen se využívá v medicíně, v barvivech, arsenitany i arseničnany v pesticidech a defoliantech. Dále při konzervaci dřeva proti houbám, ve sklářství, veterinářství, jako bojové chemické látky nebo při výrobě při polovodičů (VOHLÍDAL et al., 1988).

Arsen se díky lidské činnosti dostává do přírody ze spalování fosilních paliv, z hutnictví, dále insekticidy a herbicidy. Drenážní vody z elektrárenských odkališť mohou obsahovat až jednotky mg.l^{-1} . Arsen rovněž doprovází fosfor a vyskytuje se v odpadních vodách z praní prádla. V pracích prostředcích je obsaženo až 13 mg arsenu na kilogram. Limit určený pro pitnou vodu je $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ (REMY, 1971).

Fosfor

V přírodě se vyskytuje převážně v podobě solí kyseliny fosforečné a to jako fosforit $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ a apatit $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2$. Jen na ojedinělých místech můžeme nalézt např. fosforečnany železa jako je vivianit $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ nebo fosforečnany hliníku.

Sloučeniny kyseliny fosforečné jsou složkou těla živočichů a rostlin. Kyselina fosforečná je v nich vázána jednak organicky, např. ve vaječném žloutku nebo v hmotě mozkové ve formě lecitinů, a z části je přítomna v podobě karbonatoapatitu $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a hydroxylapatitu $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ jako výztužná hmota kostí (JURSÍK, 2002).

Fosfor je rovněž složkou důležitých organických molekul – DNA a RNA, dále energetických přenašečů (ADP a ATP) a rovněž je obsažen v některých lipidech. Jeho koncentrace v mořské vodě se pohybuje okolo $0,07 \text{ mg/l}$ (VOHLÍDAL et al., 1988).

Bílý fosfor má velmi omezenou použitelnost díky jeho jedovatosti. Je používán, např. jako jed na krysy nebo pro farmaceutické preparáty. Červený fosfor nahradil fosfor bílý při výrobě zápalek. Ale rovněž slouží jako výchozí produkt pro přípravu jiných sloučenin fosforu, např. chloridů. Ze sloučenin fosforů jsou nejvíce důležité fosforečnany,

které se používají jako průmyslová hnojiva. Černý fosfor je využíván v elektrotechnice, kde se z něj, díky jeho kovovým vlastnostem, vyrábějí polovodiče typu N (REMY, 1971).

Hliník

Hliník je třetím nejvíce zastoupeným prvkem v zemské kůře. Hliník se v přírodě vyskytuje především v podobě podvojných křemičitanů, např. v živcích nebo slídách, a v produktu jejich větrání, hlíně. Nikdy se nevyskytuje ryzí. Kysličník hlinitý Al_2O_3 se vyskytuje ve formě korundu (na Mohsově stupnici tvrdosti 9.místo) a smirku. Z hydroxidů má největší význam bauxit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, který je nejdůležitější látkou pro výrobu hliníku.

Hlínu, která obsahuje velké množství uhličitanu vápenatého a hořečnatého nazýváme jílu. Hlínu, která je silně znečištěna pískem a kysličníkem železitým nazýváme slín. Jeho koncentrace v mořské vodě je velmi nízká a pohybuje se okolo 0,01 mg/l (JURSÍK, 2002).

Hliník je kov stříbrobílé barvy, který má teplotu tání $660,2^\circ\text{C}$ a teplotu varu $2\,270^\circ\text{C}$. Hliník je velmi tažný. Výborný elektrický vodič. Na vzduchu velmi stálý, protože se pokrývá tenkou vrstvou kysličníku hlinitého, který brání další oxidaci. Ve zředěných kyselinách se velmi dobře rozpouští (REMY, 1971).

Vyhotovují se z něj průmyslové aparatury i užitékové předměty pro denní potřebu, jako např. varné hrnce a jiné kuchyňské nádoby. Po vyválnování na tenkou folii z něj vzniká alobal. Ve formě velmi tenké folie slouží společně se stříbrem jako záznamové médium v CD. Z odpadu hliníkového plechu se vyrábí práškový hliník, který má využití v litografii nebo jako nátěrová barva. Také se využívá k výrobě třaskavin pro pyrotechniku (VOHLÍDAL et al., 1988).

Měď

Měď se vyskytuje v podobě sloučenin ve velkých množstvích.. Ryzí měď je však ve větším množství vzácná. Nejčastěji se vyskytuje ve formě sirníku. Sirník měďnatý Cu_2S neboli chalkocin či leštěnc měďnatý je jedním z důležitých minerálů mědi. Ale nejhojnější a nejdůležitější měděnou rudou je však chalkopyrit CuFeS_2 neboli kyz měděný.

Jedním z důležitých minerálů mědi je malachit $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, avšak nejhojnější a nejdůležitější azurit $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ (REMY, 1971). Koncentrace mědi v mořské vodě se pohybuje okolo 0,003mg/l (JURSÍK, 2002).

Měď je kov charakteristicky červené barvy, který v tenkých vrstvách prosvítá zelenomodře. Čistá měď je měkká (podle Mohsovy stupnice tvrdost 3) a tažná. Je elektricky i tepelně velmi vodivá. Vodivost se snižuje i při nepatrném znečištění mědi, a to hlavně křehkými kovy arsenem a antimonem (JURSÍK, 2002).

Na vzduchu je měď nestálá, za působení vlhkosti a oxidu uhličitého se pokrývá tenkou vrstvou zeleného zásaditého uhličitanu měďnatého $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ neboli měděnkou. Ta měď chrání proti korozi vzdušným kyslíkem i vodou (REMY, 1971).

Měď má široké využití. Čistá se používá např. pro střešní krytiny, výrobu okapů, elektromotory, integrované obvody.

Nejvýznamnější slitiny mědi jsou mosaz a bronz. Mosaz je slitinou mědi se zinkem. Používá se k výrobě hudebních nástrojů a v bižuterii je známá pod názvem kočičí zlato. Bronz je slitinou mědi s cínem. Používá se k výrobě kuličkových ložisek, pružinových per a často je součástí lodí a ponorek, protože je odolný proti působení mořské vody. Dále slouží k výrobě soch, medailí nebo pamětních mincí (VOHLÍDAL et al., 1988).

Rtuť

V přírodě se vyskytuje především v podobě sulfidu rtuťnatého HgS (tzv. rumělka). Největší naleziště rumělky můžeme najít ve Španělsku, Slovinsku, v Kalifornii, Mexiku nebo Oregonu. Technicky bezvýznamnými nerosty jsou např. coloradoit HgTe nebo kalomel Hg_2Cl_2 . Koncentrace rtuti v mořské vodě se pohybuje okolo $0,03 \mu\text{g/l}$ (JURSÍK, 2002).

Při obyčejné teplotě je rtuť stříbrobílý kapalný silně lesklý kov. Vře při $356,95^\circ\text{C}$ a tuhne při $-38,84^\circ\text{C}$. I v tuhém stavu je rtuť měkká a tažná. Je dobrým vodičem elektrického proudu. Její páry jsou velmi jedovaté. Při trvalém působení mohou vyvolat těžké poruchy i v malých množstvích (VOHLÍDAL et al., 1988).

V kovové podobě je rtuť použitelná pro technická zařízení a hlavně pro vědecké přístroje, např. do křemenných lamp, do rtuťových výbojkových usměrňovačů, regulátorů tlaku, na výrobu teploměrů a barometrů (REMY, 1971).

Větší množství rtuti se spotřebuje na výrobu umělé rumělky (barvy). V podobě masti je používána proti kožním onemocněním (šedá mast).

Amalgámy se využívají k plombování zubů. Důležitá je ale i amalgame zinkových desek pro galvanické články. V laboratoři se využívá sodíkový amalgám jako redukční činidlo (REMY, 1971).

Organické sloučeniny rtuti obsahují ve stopovém množství také některé vakcíny proti bakteriálním a virovým onemocněním, jako např. proti hepatitidě typu B nebo meningitidě (VOHLÍDAL et al., 1988).

2.2 Toxicita těžkých kovů

Toxicita těžkých kovů, a znečišťujících látek obecně, je v dnešní době předmětem velkého zájmu všech vědců. Hlavním důvodem je vypouštění velkých množství potenciálně škodlivých kontaminantů do životního prostředí (KENNISH, 1992).

Toxicita je vlastnost chemické látky, která znepokojuje svým možným škodlivým účinkem na živé organismy. Chemická toxicita působící na organismus je výsledkem její koncentrace a délky vystavení jejímu působení (SIGEL, 2005).

Toxické působení chemikálie se může projevit smrtí organismu, tj. smrtelná toxicita, jiným účinkem na organismus než je smrt, tj. subletální toxicita, účinky, které se projevují rychle, nahromaděním v období několika dní, tj. akutní toxicita, a účinky, které se projevují po delším časovém období, v týdnech nebo měsících než dnech, tj. chronická toxicita (KENNISH, 1992).

Toxicita látek se stanovuje tzv. testy toxicity. Testy toxicity jsou využívány při hodnocení nově používaných chemických látek a rovněž při zjišťování původců havárií ve vodách. Testy mohou být prováděny na vodních organismech na třech úrovních: na úrovni buněk a tkání, organismů nebo společenstev. Testy toxicity se provádějí i na vodních bezobratlých, protože každý organismus má jinou citlivost k různým látkám. Nejpoužívanějšími organismy jsou buchanky, nitěnky a perloočky, které jsou jedním z nejcitlivějších vodních organismů na přítomnost škodlivých látek (SIGEL, 2005).

Látky a přípravky, které jsou testovány, jsou označovány z hlediska rizik tzv. R větami. R50 znamená vysoce toxické pro vodní organismy a hodnoty LC (EC, IC) jsou $50 \leq 1 \text{ mg.l}^{-1}$. R51 znamená toxické pro vodní organismy a hodnoty jsou $1 \text{ mg.l}^{-1} < \text{LC (EC, IC)} \leq 10 \text{ mg.l}^{-1}$. A R52 znamená škodlivé pro vodní organismy a hodnoty jsou $10 \text{ mg.l}^{-1} < \text{LC (EC, IC)} \leq 100 \text{ mg.l}^{-1}$. Rozhodující je zjištěná hodnota pro nejcitlivější druh

organismu. Zkratka LC znamená letální koncentrace, IC inhibiční koncentrace a EC efektivní koncentrace (KENNISH, 1992).

3 ŽIVÉ ORGANISMY JAKO BIOINDIKÁTORY ZMĚN V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ SE ZAMĚŘENÍM NA TĚŽKÉ KOVY

Organismy, které využíváme jako bioindikátory k monitorování životního prostředí, mohou být např. lišejníky, ptáci, bakterie nebo měkkýši, které se používají k monitorování životního prostředí. Organismy monitorují různé změny, které mohou určit problém v jejich ekosystému. Změny mohou být fyziologické, chemické nebo behaviorální. Určité změny se liší u každého druhu organismu. Použití organismů jako bioindikátoru zahrnuje mnoho různých oblastí vědy (CONTI, 2008).

Podle Spellerberga (1995) můžeme indikátory znečištění rozdělit do následujících skupin:

- **Sentinels** jsou citlivé organismy, které zavádíme do prostředí úmyslně, např. proto, aby indikovaly jeho okamžité změny nebo aby odhalily účinky vypouštění odpadních vod. Tyto organismy jsou dále popsány v dalším odstavci.
- **Detectors** se vyskytují v přírodě přirozeně a měřitelným způsobem reagují na změny životního prostředí např. chováním, mortalitou nebo věkem.
- **Exploiters** svou přítomností signalizují narušení nebo znečištění životního prostředí.
- **Acumulators** přijímají znečišťující látky a hromadí je ve svých tělech v měřitelném množství.
- **Bioassay organisms** jsou vybrané organismy, které se používají v laboratořích ke zjištění koncentrací znečišťujících látek.

Indikační druhy, které mají sklon k akumulaci těžkých kovů v jejich tkáních z okolního životního prostředí nebo příjmem potravy, nazýváme sentinelovými organismy. Druhy, žijící se filtrováním potravy z vody jako škeble, koncentrují těžké kovy v žábrách, ledvinách nebo tukových tkáních. Ideální sentinelový organismus musí splňovat dvě podmínky. Tou první je, že musí existovat vzájemný vztah mezi obsahem znečišťujících látek v těle organismu a v prostředí. Druhou podmínkou je, že organismy

musejí snášet maximální koncentrace znečišťujících látek v okolním prostředí a při těchto podmínkách musí být schopny rozmnožování (PHILIPS et al., 1994).

Změny v populaci nebo chování mohou být zjištěny přímo, ale fyziologické změny musí být zjištěny použitím speciálních testů. Tyto testy mohou být využity k zjištění kvality pitné vody nebo k měření zdravotního stavu řeky. V budoucnosti se mohou nové způsoby využití organismů rozšířit, aby se zahrnuo rovněž testování půd a vzduchu (SHARMA, 2008).

Bioindikátory jsou používány k:

- Zjištění změn v přirozeném prostředí.
- Monitorování přítomného znečištění a jeho dopadu na ekosystém ve kterém organismus žije.
- Sledování vývoje v oblasti ozdravení životního prostředí.
- Testování látek (např. pitné vody) na přítomnost znečišťujících látek (SHARMA, 2008).

Vlastnosti ideálního bioindikátoru:

- Snadné vymezení druhu a taxonomická spolehlivost.
- Celosvětové rozšíření.
- Vysoká početnost.
- Nízká genetická a ekologická proměnlivost.
- Dostatečná velikost.
- Omezená pohyblivost a dlouhověkost.
- Dostatek autekologických informací.
- Vhodnost pro laboratorní studie (RULÍK, 2007).

3.1 Typy bioindikátorů

Bioindikátory můžeme rozdělit do tří základních skupin, a to na rostlinné, živočišné a mikrobiální indikátory.

Rostlinný bioindikátor může svou přítomností nebo nepřítomností v ekosystému může mnoho napovědět o stavu životního prostředí (SHARMA, 2008). Typickým bioindikátorem, který je řazen mezi rostliny, jsou lišejníky. Ty se často nacházejí na skalách a kmenech stromů. Reagují na změny prostředí v lesích, včetně změn v lesní struktuře, kvalitě vzduchu a klimatu. Zmizení lišejníků může naznačit namáhání prostředí, stejně jako např. vysoké úrovně oxidu siřičitého nebo dusíku v ovzduší (DAVIS, 2007).

Další skupinou jsou živočišné bioindikátory. Úbytek nebo naopak přírůstek ve zvířecí populaci může ukazovat poškození životního prostředí způsobené znečištěním. Můžeme vycházet z chování i fyziologie živočichů (SPELLERBERG, 1995). Například, když nadměrné znečištění způsobí vyčerpání důležitého zdroje potravy, zvířecí druhy závislé na tomto druhu potravy, budou co do počtu zmenšeny. Kromě sledování velikosti a počtu určitých druhů, zahrnuje živočišná indikace také např. sledování koncentrace toxinu v tkáních zvířat (DAVIS, 2007).

Poslední skupinou jsou ukazatele mikrobiální. Mikroorganismy mohou být využívány jako ukazatele kvality vodního nebo suchozemského ekosystému (SHARMA, 2008). Vzorkování mikroorganismů je snadnější v tom ohledu, že se nacházejí ve velkých množstvích. Některé organismy budou schopny v budoucnu vyrábět proteiny, tzv. stresové proteiny, které odhalí znečišťující látky jako např. kadmium nebo benzen. Tyto stresové proteiny mohou včas zjistit úroveň znečištění, která jsou pro životní prostředí škodlivá (DAVIS, 2007).

Využití vodních bezobratlých živočichů jako bioindikátorů

Vodní bezobratlí se často vyskytují u dna našich vod. Jsou také nazýváni jako bentičtí makrobezobratlí nebo bentos a jsou výbornými indikátory kvality vody, protože:

- Žijí ve vodě po celý nebo část svého života.
- Zůstávají v oblastech vhodných pro jejich přežití.
- Jsou snadno vzorkovatelné.
- Liší se svou tolerancí na množství a typy znečištění.
- Snadno se určují v laboratořích.
- Často žijí déle než jeden rok.
- Mají omezenou pohyblivost.

- Jsou integrátory stavu životního prostředí.

Některé druhy bezobratlých jsou nacházeny mnohem častěji a ve větších množstvích ve vodách, které jsou všeobecně čisté nebo neznečištěné organickými odpady (DAVIS, 2007).

3.2 Biomonitoring životního prostředí

Biomonitoring je oblast vědeckého výzkumu, zabývající se analýzou tkání zvířat. Slouží ke zjištění a změření expozic, kterým byl zkoumaný organismus vystaven. Jedná se o expozice přírodních, syntetických nebo člověkem vyrobených chemických látek. Jak přírodní, tak syntetické látky zůstávají v organismu jako tzv. markery. Ty mohou být buď chemické, zůstávající v tělních tkáních, nebo vedlejší produkty jejich rozkladu.

Biomonitoring měří zůstatek znečišťujících látek (těžkých kovů) v tělních tkáních po expozici těmito látkami. Biomonitoring může určit, jak přišel živý organismus do kontaktu se znečišťující látkou, jak jí přijal do těla, jak dlouho byl vystaven vyskytujícímu se nebezpečí nebo zda je působení znečišťující látky skutečně škodlivé pro tělo, ale není to jeho hlavní činností (WALLIS, 2005).

Biomonitorovací studie se obvykle provádí podle následujících tří kroků. Prvním krokem je vybrání skupiny subjektů a jejich oblasti. Druhým prováděným krokem je sběr vzorků tkání nebo tekutin (WALLIS, 2005). Vzorky tkání jsou často odebírány např. z jater, ledvin, žáber, tukových nebo reprodukčních tkání (DRAGGAN, 2008). Posledním krokem je určení znečišťující látky, kterou chceme studovat a poté analyzovat (WALLIS, 2005).

Důvody pro provádění monitoringu:

- Vyšetřování odpadních vod nebo bioty na potenciálně škodlivé toxické kovy.
- Průzkum vlivu kvality životního prostředí na lidské zdraví a další parametry, v pokusu vysvětlit vztah příčiny a následku.
- Studium zdroje kontaminantů, jejich transportu a konce v životním prostředí.

- Poskytnutí historických záznamů emisí, toxických látek nebo kvality životního prostředí (PHILIPS, 1994).

Biologický monitor (biomonitor)

Biologický monitor se odlišuje od biologického indikátoru dvěma kritérii. Poskytuje prostředky pro pravidelné pozorování a může být rovněž použit k vyčíslení množství znečišťujících látek přítomných v konkrétním prostředí (PHILIPS, 1994).

Ideální vlastnosti biomonitoru:

- Biomonitor by měl být přirostlý nebo sedavý, aby reprezentoval danou oblast studia.
- Měl by se hojně vyskytovat v oblasti, kde je prováděn výzkum.
- Lehce identifikovatelný a vzorkovatelný v kteroukoliv dobu po celý rok.
- Měl by být dost velký pro poskytnutí dostatečné tkáně pro analýzy kontaminace.
- Odolný, tolerantní k širokým obsahům koncentrace znečišťujících látek a k fyzicko-chemické proměnlivosti jako např. k proměnlivosti salinity.
- Měl by být intenzivní akumulátor důležitého kovu (nebo jiné znečišťující látky) s jednoduchým vzájemným vztahem mezi koncentrací kovu nalezeného v tkáních biomonitoru a průměrem okolní dostupnosti koncentrace tohoto kovu; tyto vztahy by měly být stejné ve všech studovaných oblastech (PHILIPS, 1994).

4 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA MĚKKÝŠŮ A MOŽNOSTI JEJICH VYUŽITÍ JAKO BIOINDIKÁTORŮ

4.1 Morfologie měkkýšů

Charakteristické pro měkkýše je jejich měkké slizké tělo a žláznatý plášť. Plášť tvoří schránku, do které se může měkkýš buď částečně nebo zcela ukrýt. Podle různých tvarů pláště vytvářejí měkkýši různé typy schránek. V současnosti je známo okolo 130 000 druhů.

Zástupce suchozemských měkkýšů dělíme do dvou tříd: mlži (*Bivalvia*) a plži (*Gastropoda*). Třidu Plži pak dále dělíme na podtřídy Předožábří (*Prosobranchiata*), Zadožábří (*Opisthobranchiata*) a Plícnatí (*Pulmonata*) (BRUYNE, 2003).

Mlži (*Bivalvia*)

Tělo mlžů je zploštělé, obvykle dvojstraně souměrné. Plášť je na hřbetní části těla srostlý s ostatním tělem, jinak vystylá vnitřní stranu obou misek volnými, jemně lupenitými útvary. Okraje pláště tvoří, společně se žlázami a jemnými svaly, zesílený lem. U některých druhů mlžů okraje obou plášťových lupenů srůstají natolik, že nechávají jen vpředu volný otvor pro nohu a vzadu dva otvory. (PFLEGER, 1988).

Dolním zadním otvorem živočich přijímá do plášťové dutiny vodu s potravou (přijímací otvor) a horním otvorem vodu včetně exkrementů z těla vylučuje (vyvrhovací otvor). Zmíněné otvory u některých druhů bývají trubicovitě vytažené a nazývají se sifony (BUCHAR, 1995).

Střední a hřbetní část těla je označována jako trup. Na břišní straně přechází trup plynule do nohy. Noha může být buď klínovitá, ze stran stlačená, nebo protáhle jazykovitá (PFLEGER, 1988). Nejstarší část lastury, která vyčnívá na jejím hřbetním okraji tvoří vrchol. Hřbetní část lastury před vrcholem nazýváme štítek, za vrcholem se nachází štít (BUCHAR, 1995).

Dýchací orgány, žábry, mají podobu párovitých souměrných lupenů (vnější a vnitřní). Ze svalstva jsou významné dva svaly svěrací, přední a zadní, které zanechávají na vnitřní straně misek zřetelné vtisky (HUDEC, 2007).

V přední části nohy jsou ústa, která jsou vkleslá a nemají čelist ani radulu. Mlži potravu nejprve filtrují přes žábry, pak postupuje do úst a do zažívacího traktu. Trávicí soustava pokračuje střevem, které se posléze obrací jako konečník do hřbetní části trupu a řití vyúsťuje do horní komory v zadní části žaberní dutiny (BLACK, 1981).

Srdce má jenu komoru a dvě souměrné předsíně. Pod srdcem se nacházejí párovité ledviny, které se nazývají Bojanův orgán. Ze smyslových ústrojí jsou důležité orgány rovnováhy, tzv. statocysty. Oči ani tykadla se u sladkovodních mlžů nevyskytují.

Mlži jsou obvykle pohlaví odděleného, až na čeled' okružánkovitých (*Sphaeriidae*), která zahrnuje obojetníky. Oplození je vnější, probíhající ve vodě (PFLEGER, 1988).

Plži (*Gastropoda*)

Tělo plžů je tvořeno souměrnou nohou, hlavou a nesouměrným útrobním vakem. Na hřbetní straně nohy plžů se nachází nepárová spirálovitě vinutá ulita, která ale nemusí být vinutá (plži nazí) (PFLEGER, 1988). Spirálovitě zatočená ulita je složena ze závitků, které se stýkají ve švu a otáčejí se kolem osy, tzv. cívky. Živočich vylézá z ulitý ústím, které je tvořeno obústím. Horní stěna ústí se nazývá patro, dolní stěna hltan (LOŽEK, 1956).

Noha se vysunuje z ulity a slouží k pohybu. Břišní část nohy se nazývá chodidlo. Vpředu na nohu navazuje hlava s ústy a smyslovými orgány. Hlava není od hřbetní části těla ostře ohraničená. U sladkovodních plžů má hlava jen jeden pár nezatažitelných tykadel, zatímco suchozemští plži mají dva páry zatažitelných tykadel. Horní pár nese oči, dolní pár je kratší a bez očí (BLACK, 1981).

Útrobní vak tvoří tzv. plášť, což je kožní záhyb, jehož okraj a vnější strana vylučují ulitu. Plášť je skrytý v ulitě a přizpůsobuje se jejímu tvaru. Vpředu a po straně tvoří plášťovou dutinu, která slouží především k dýchání. V plášťové dutině se rovněž nachází srdce a ledvina.

Trávicí soustava začíná ústy na hlavě, dále pokračuje střevem, které je složeno v kličky a vyúsťuje řití v plášťové dutině. Ústní otvor ústí do ústní dutiny, která přechází do svalnatého jícnu. Přední rozšířená část střeva tvoří žaludek, na zadním konci do něj vyúsťuje slinivkojaterní žláza. Na rozhraní ústní a jícnové dutiny se na stopě zažívací trubice nachází chitinová čelist, umožňující plži uchopit potravu. Na spodní straně jícnu se nachází svalnatý jazyk. Na klenutém povrchu jazyka je chitinová blanka s drobnými

zoubky v příčných a podélných řadách. Tento charakteristický orgán, nazývaný radula, potravu strouhá.

Cévní soustava plžů je otevřená s lehce namodralou krví. Srdce plžů je uloženo v tenkostěnném osrdečníku a je složeno z jedné silnostěnné komory a jedné tenkostěnné předsíně (BRUYNE, 2007).

Pohlavní orgány jsou důležité při určování druhů plžů. U plžů se vyskytují jak obojetníci (tzv. hermafroditi), tak druhy s odděleným pohlavím (tzv. gonochorist).

Zcela odlišnou morfologii těla mají nazí plži, čeledi plžákovitých (*Arionidae*) a slimákovitých (*Limacidae*), kteří postrádají ulitu. Nemají útrobní vak, ale celé tělo je tvořeno nohou, ve které jsou uloženy všechny vnitřnosti. Plášť má podobu kožního záhybu. Pod pláštěm je zbytek ulity buď v podobě souvislé hřbetní destičky nebo vápenitých zrníček. Hřbetní část těla mezi okrajem pláště a hlavou nazýváme šíjí, zatímco od pláště k ocasnímu konci mluvíme o hřbetu. Postranní část těla tvoří boky (PFLEGER, 1988).

4.2 Hlavní ekologické faktory ovlivňující malakocenózy

Ekologické faktory pro většinu druhů jsou:

- Obsah dostupného vápníku, důležitého pro stavbu ulit.
- Vlhkost (většině druhů vyhovuje dlouhodobé teplé vlhko).
- Zachovalost stanoviště.

Potrava

Měkkýši využívají k potravě různé zdroje. Druhy, které pomocí raduly seškrabují nárůsty sinic a řas nebo v případě suchozemských plžů spásají vegetaci, označujeme jako spásače.

Většina mlžů jsou mikrofágové, kteří filtrují drobný plankton a organický dendrit z vody. Plži a hlavonožci jsou většinou dravci, kteří loví jiné bezobratlé živočichy nebo ryby. K lovu užívají různých strategií.

Většina suchozemských plžů se živí tlejícími rostlinami, houbami, řasami nebo lišejníky. Méně konzumují zelené rostliny, jako plody, semena a podzemní orgány (PFLEGER, 1988).

Výskyt vodních měkkýšů

Vodní živočichové mohou dosáhnout větších rozměrů než živočichové suchozemští. To je způsobeno tím, že voda má větší hustotu než vzduch a tím nejsou živočichové omezováni pevností kostry (MAŇAS, 2005).

Odolnost mořských měkkýšů

Mlži a plži žijící v mořích, obzvláště osidlující brakické prostředí a přílivovo-odlivové zóny, si vytvořili schopnost tolerance ke změnám salinity a k občasnému vysychání. Následkem toho je nižší druhová diverzita, ale větší počet jedinců (MERGL, 2006).

Euryhalinní druhy jsou takové, které můžou žít v mořské, brakické i sladké vodě. Pro přechod u jednoho prostředí do druhého potřebují vždy jen určitou adaptační dobu (BAYNE, 1976).

Odolnost sladkovodních měkkýšů

Sladkovodní měkkýši zahrnují malý počet mlžů a plícnatých plžů. Mlži jsou blízce příbuzní mořským pobřežním formám. Základním předpokladem pro přechod z moře do sladkých vod bylo přizpůsobení koncentrace tělních tekutin novému prostředí, tzv. schopnost osmoregulace. Plícnatí plži přešli do sladkých vod ze souše. Svým způsobem dýchání připomínají suchozemské druhy (DILLON, 2000).

Sladkovodní plícnatí plži obývají hlavně mělké vody jezer, rybníků, řek, bažin nebo potoků. Plži ve stojatých vodách se shlukují na cévnatých vynořených nebo ponořených rostlinách, zatím co v tekoucích vodách, žijí na kamenech (DILLON, 2000).

Druhové složení společenstva měkkýšů závisí více na podmínkách mikroprostředí (potrava, obsah kyslíku) a velikosti stanoviště než na typu biotopu, což jsou tekoucí nebo stojaté vody. Příkladem je kamomil říční (*Ancylus fluviatilis*), který je typický pro malé rychle tekoucí potoky, ale vyskytuje se i kamenných dnech jezer, kde je díky proudění vody větší obsah kyslíku (PFLEGER, 1988).

Výskyt suchozemských měkkýšů

Největším nebezpečím pro plže je sucho. Proto jsou nejaktivnější v noci nebo za vlhkého počasí. Většina druhů se během dne schovává pod kládami, kameny, vegetací nebo povrchem půd. Druhy, které se vyskytují na povrchu kamenů nebo skal, jsou přizpůsobeny

jednak zbarvením a jednak povlakem z mikroskopických řas a anorganických částic. To jim umožňuje dokonalé maskování (BARKER, 2001).

Ulita tvoří nejlepší úkryt proti vyschnutí. Po zatažení do schránky, si plž může vytvořit dočasné pergamenové víčko v ústí ulity. Velké druhy traví několikaměsíční suché léto v tzv. letním spánku, kdy jsou všechny životní funkce sniženy. Některé druhy, které v tomto stavu také přezimují, si vytvářejí na zimu pevné vápenité víčko, např. hlemýžď zahradní (*Helix pomatia*) (STURM et al., 2006).

Většina suchozemských druhů se vyskytuje na vápenitých půdách, zatímco na velmi kyselých, jako jsou vřesoviště a slatiny, se vyskytuje málo druhů. Pro stavbu ulity je minimální výskyt vápníku v půdě důležitá. Zalesněná krajina je na měkkýše druhově nejbohatší. Má vlhké a stejnoměrné klima a mnoho míst, kde se nachází potrava i úkryt. Příkladem lesních druhů mohou být, např. hladovka horská (*Ena montana*) nebo skalnice lepá (*Faustina faustina*) (PFLEGER, 1988).

4.3 Faktory ohrožující výskyt měkkýšů

Jedním z faktorů, ohrožujících výskyt měkkýšů, jsou přirozené změny ve složení společenstev v souvislosti s klimatickými změnami. Druhým, a nejsilnějším, faktorem je působení člověka. Z rozsáhlého spektra antropogenních vlivů na měkkýše, jsou nejdůležitější tyto:

1. Vliv průmyslových emisí, jejichž hlavním následkem je odumírání horských lesů, které jsou jedním z nejohroženějších společenstev.
2. Narušení hydrologického režimu odvodňováním nebo zarůstáním ohrožuje hlavně biotopy mokřadu.
3. Účast zemědělství a průmyslu na znečišťování vodních toků chemickými polutanty.
4. Regulace vodních toků.
5. Změna hospodaření v krajině – dříve obdělávané pozemky, které jsou nyní nevyužívány a zarůstají.
6. Přímá likvidace vhodných biotopů (JUŘIČKOVÁ, 2005).

4.4 Bioindikační význam měkkýšů

Měkkýši jsou vhodnou modelovou indikační skupinou bezobratlých živočichů (LOŽEK, 1981). Důvodů jejich využití je hned několik. Jsme dostatečně obeznámeni s ekologií jednotlivých druhů. Celkové počty druhů měkkýšů jsou zvládnutelné a zahrnují rozmanité škály vodních i suchozemských biotopů. Existuje možnost srovnání s fosiliemi ve vápenitých uloženinách a tak můžeme podchytit trendy ve vývoji společenstev v nejmladší geologické minulosti. Snadný sběr, který může být provozován po celý rok. Úzká vazba měkkýšů ke geologickému podkladu a okolní vegetaci (JUŘIČKOVÁ, 2005).

Objektivní využití měkkýšů jako biologických indikátorů se zakládá na přesné znalosti jejich vztahů k stanovištním podmínkám, které ovlivňují abiotické i biotické faktory. Měkkýši jsou silně vázání na substrát, složení a strukturu vegetace, nadmořskou výšku a vlastnosti opadanky (LOŽEK, 2005).

Abiotické faktory

Geologický podklad příznivě podporuje rozvoj malakofauny. Vápnité a bazické horniny a zeminy jsou nejvhodnější, zatímco nepříznivé jsou kyselé a na živiny chudé substráty.

Rovněž půda poskytuje měkkýšům optimální prostředí. Největší výskyt malakofauny můžeme zaznamenat na půdách, které jsou dostatečně humifikované, dobře provzdušněné a zásobené vápníkem.

Dalším z abiotických faktorů je podnebí. Nejpríznivější je teplé klima, které ale musí vykazovat dostatečnou vlhkost. Podstatný vliv má i porostní a půdní mikroklima (LOŽEK, 2005).

Biotické faktory

Vegetace ovlivňuje měkkýše nejen tím, že vytváří jakési určité fyzikální prostředí jako např. zastínění, rozpad dřeva v lesích nebo krytí opadankou, ale i svým chemismem.

Důležitým biotickým faktorem je i činnost člověka. Člověk vytváří umělá stanoviště, která umožňují výskyt jednotlivých druhů nebo společenstev. Ty by v dané krajině nenašly vhodné prostředí, pokud by byla stanoviště v přírodní stavu. Ovšem člověk je také ten, který skoro vyhubil měkkýši faunu na velkých plochách, kde vysadil jehličnaté

(hlavně smrkové) monokultury, zatopením vysokých přehrad nebo znečištěním vodních toků (LOŽEK, 2005).

5 BIOAKUMULACE TĚŽKÝCH KOVŮ V TKÁNÍCH MĚKKÝŠŮ

Bioakumulace popisuje přijímání a ukládání dané chemické látky živými organismy z jejich životního prostředí a potravy. Je výsledkem dvou procesů: biokoncentrace a biomagnifikace (hromadění). Biokoncentrace je přímá absorpce látky živým organismem z prostředí (např. z vody) pomocí kůže, žáber nebo plic. Zatímco biomagnifikace je výsledkem příjmu znečišťujících látek potravním řetězcem (WEIGEL, 2008).

Často se slovo bioakumulace používá jako obecný pojem pro výše uvedené procesy.

Ve skutečnosti, je bioakumulace důležitý proces pro přežití organismů. Zvířata přijímají vitamíny A, D a K, stopové prvky, esenciální tuky a aminokyseliny. Za nebezpečnou je považována až tehdy, kdy jsou látky v těle živočichů přítomny v koncentracích škodlivých pro organismus. Škodlivé látky se mohou do těl živočichů dostat jak z životního prostředí tak z potravy, včetně dýchání (např. přes žábry) nebo trávením potravy (přes střeva). Rozsah bioakumulace závisí na míře absorpce organismem, distribuci, metabolismu a vylučování.

Bioakumulační faktor (BAF) popisuje schopnost chemikálie bioakumulovat se z jídla. Je to poměr koncentrace chemické látky v organismu ke koncentraci v jejich potravě (BEEK, 2000).

5.1 Faktory ovlivňující bioakumulaci

Schopnost chemické látky bioakumulovat se, závisí na:

- Jejich fyzických a chemických vlastnostech, včetně rozpustnosti ve vodě a v tuku, molekulové hmotnosti a metabolismu (přeměna chemických látek v organismu) nebo degradaci (přeměna v životním prostředí).
- Podmínkách životního prostředí, včetně kvality vody (tvrdost, pH atd.).
- Povaze organismu, včetně jeho schopnosti strávit chemickou látku a její obsah lipidů. Zvířata s vyšším obsahem tuku, která žijí v chladném podnebí, mají sklon mít vyšší tělesnou zátěž lipofilními chemickými látkami.

- Potravních faktorech, jako tempo krmení, množství a podíl spotřebované kontaminované potravy. A ochotě organismus přijímat chemické látky z jeho potravy. (BEEK, 2000)

5.2 Bioakumulace v tělech mořských měkkýšů

Monitorovací programy zjišťující znečištění mořského prostředí, by měly stanovit prostorové a časové rozšíření chemických znečišťujících látek, stejně jako rozpoznat potenciální zdroje znečištění s cílem zhodnotit stav životního prostředí pobřeží.

Výskyt kovů ve vodních organismech je ovlivňován mnoha vnějšími faktory jako, např. roční období, pH, koncentrace látky nebo tvrdost vody (BESADA et al., 2008).

Úrovně kontaminace v mořském prostředí se za několik posledních desetiletí zvýšily. Znečištění moře je světovým ekologickým problémem. Je to následek lidské činnosti přispívající ke znečištění mořských vod, usazenin a organismů potenciálními toxickými látkami. Znečišťující látky mohou být přírodního původu nebo uměle vytvořené sloučeniny. Po vypuštění do moře mohou zůstat ve vodě v rozpuštěné formě nebo mohou být pomocí sedimentace přemístěny do usazenin dna (MAANAN, 2008). Znečišťující látky, v našem případě těžké kovy, se hromadí v organismech a usazeninách a následně jsou přeneseny do lidského organismu potravním řetězcem (CARDELLICCHIO et al., 2008).

Druhy využívané k monitoringu

Mořské monitorovací studie využívají různé druhy měkkýšů. Rozdílné druhy hromadí kovy v odlišném rozsahu (RUASGWISES, 1998). Mezi nejvíce využívané čeledi patří slávkovití, telínkovití a ústřicovití.

Řád Mytiloida, čeleď slávkovití (*Mytilidae*)

Mořské škeble, obzvláště slávky, jsou jedním z nejlepších biologických indikátorů pobřežního znečištění. Jsou vhodné pro sběr z několika důvodů. Žijí přisedlé k povrchu, mají široké geografické rozšíření a dlouhý životní cyklus, jejich populace je všeobecně rozšířená na vzorkovacích místech a samozřejmě jsou schopny akumulovat znečišťující látky. Slávky pravděpodobně kovy absorbují jak z vody tak z přijímaného fytoplanktonu (CARDELLICCHIO et al., 2008). Množství kovů v jejich tkáních uvádí znečištění v místě, kde žijí. Avšak, vztah mezi množstvím kovů v životním prostředí a množstvím kovů

v tělech měkkýšů, které jsou schopny nahromadit, je těžké stanovit (BESADA et al., 2008).

Koncentrace kovů ve slávkách závisí na mnoha ekologických a biologických faktorech. Mezi ekologické faktory řadíme roční období, teplotu, pH a slanost, biologickými faktory je myšlen věk, pohlaví a etapa pohlavní zralosti. Relativní vztah mezi reprodukční aktivitou a zátěží těla koncentracemi kovů je u škeblí velmi složitý a souvisí s vyživovacími faktory a gametogenezí (MAANAN, 2008).

slávka jedlá (*Mytilus edulis*)

Z čeledi slávkovitých je nejznámější a ekonomicky nejvýznamnější druh. Velikostí a tvarem je rozmanitá, ale její zbarvení je vždy temně modravé až nachové, okraj pláště je světle žlutavě hnědý. Přirozeně se vyskytuje na skalnatém pobřeží v početných skupinách (DOBRORUKA, 1984). Ale stejně dobře osidlují i písčná nebo kamenitá dna, kde tvoří tzv. škeblové lavice. Je tolerantní i k nižší salinitě. Živí se filtrováním planktonu a jiných drobných organických částic z vody. Tím se v jejím těle hromadí škodlivé látky, v našem případě těžké kovy. K rozmnožování dochází na jaře a počátkem léta. Někteří jedinci se mohou dožít 15 let i více. Druh se hojně vyskytuje u celého Britského pobřeží, od arktického Norska po Středomoří (HAYWARD et al., 2006).

slávka středomořská (*Mytilus galloprovincialis*)

Slávka středomořská se velmi podobá slávce jedlé, s kterou se může křížit. Okraj jejího pláště je nachově zbarvený. Vyskytuje se na jihozápadním pobřeží Anglie a západním pobřeží Irska, dále na francouzském pobřeží až po Středomoří (ALTMAN, 1984).

Řád Veneroida, čeleď telínkovití (*Tellinidae*)

Tato čeleď má tenké, ploché, oválné, symetrické, ale nestejnostranné lastury. Mnoho druhů má z boku zploštělé misky, zaoblené vpředu a zahnuté vzadu. Jsou jasně zbarvené. Mělce se zahrabávají do jemného bahnitého písku nebo bahna. Většina druhů leží na jedné straně. Živí se buď z vody drobnými částicemi nebo z usazenin. Celkově je telínek přes 200 druhů, z toho v Evropě rozšířeno 18 druhů (HAYWARD et al., 2006).

telínka severní (*Macoma balhica*)

Lastury má zavalité, široce oválné s zadní části mírně zúženou. Zbarvení je různorodé, jednobarevné nebo s pásy s hnědým okrajovým lemem. Dosahuje délky asi

25 mm. Vnitřní strana lastur je lesklá, bílá, růžová nebo nachová. Postrádá postranní zuby (ALTMAN, 1984). Vyskytuje se v bahně a bahnitém písku, v přílivovém pásmu do maximální hloubky 30 m. Je velmi hojně rozšířená v ústích řek a na přílivových mělčinách na obou stranách severního Atlantiku. V Evropě se vyskytuje od Bílého moře na severu až po ústí řeky Gironde v Biskajském zálivu na jihu (HENDOZKO et al., 2009).

Řád Pterioda, čeleď ústřicovití (*Ostreidae*)

Ústřicovití mají silné vrásčité lastury. Levá strana má hluboce šipkovitý tvar, zatímco pravá lastura je skoro rovná. Vnitřní strana lastury je lesklá a perleťová. Lepí se na skály a ostatní lastury svou levou miskou. Většina ústřic je jedlá. V Evropě se vyskytují 4 druhy (DANCE, 2006).

ústřice velká (*Crassostrea giga*)

Dosahuje délky až 300 mm. Její tvar je úzce nebo široce oválný. Hluboce zoubkovaný okraj lastury je často tvořen šesti nebo sedmi výraznými silnými žebry. Obývá dolní partie pobřeží a mělký sublitorál asi do 80 m. Ústřice velká je rozšířena v celém středomoří až po Biskajský záliv (BESADA et al., 2008).

Na přelomu jara a léta roku 2008 byl v některých oblastech Francie a Irska zjištěn zvýšený úhyn ústřice velké. Za následky tohoto zvýšeného úhynu byly považovány nepříznivé faktory související s životním prostředím a výskyt bakterie rodu *Vibrio* a viru *Ostreid herpesvirus-1* (OsHV-1), včetně jeho nově popsaneho genotypu *Ostreid herpesvirus-1* μ var (OsHV-1 μ var). I když zůstaly příčiny tohoto úhynu nejasné, epizootologické šetření, které bylo provedeno v roce 2009 v Irsku, naznačilo, že zásadní roli hraje virus OsHV-1 μ var (KVASNIČKOVÁ, 2010).

ústřice jedlá (*Ostrea edulis*)

Tvar lastury je oválný, hruškovitý nebo kruhovitý. Dosahuje průměru zhruba 100 mm. Povrch lastury je drsný s jemnými paprskovitými žebry. Dříve byla hojně rozšířena, ale dnes jsou mnohé populace značně zredukované. V rozmnožovacím období, což je od května do srpna, není jedlá. Od září se ústřice vykrmují (nebo-li „zelenají“) v příbojových rybníčcích. Zbarvení je podle planktonových řas, kterými se živí. Vyskytuje se v oblasti extrémního odlivu za vysokých slapů a s sublitorálně do hloubky 50 m. Ústřice jedlá je rozšířena od Norska po Středomoří a Černé moře (COLDREY, 1993).

Výběr vhodné lokality pro monitoring

Výběr vhodného místa se provádí na základě analýzy kontaminovaných sedimentových profilů a předběžným odhadem biodiverzity. Potenciálních zdrojů znečištění mořského pobřeží je mnoho. Těžké kovy a jiné nebezpečné chemické látky se mohou do vody dostat z přístavních doků, které jsou postaveny v zálivech. Svůj podíl nese rovněž lodní a trajektová doprava, která převáží olej, který může uniknout a způsobit olejové skvrny na povrchu. Samozřejmě nesmíme opomenout i rekreační oblasti, které jsou využívány širokou veřejností a obvykle se nacházejí v těsné blízkosti pobřeží (MOSTAFA et al., 2009).

Dalším zdrojem je vypouštění neupravených odpadních vod z průmyslu, zemědělství a z domácností. Ty jsou vypouštěny buď do řek, které mohou ústít do moře nebo přímo do zálivů. Nesprávné nakládání s odpady může mít také negativní dopad na životní prostředí. Těžké kovy se ale mohou do přírody dostat i z atmosférického spadu nebo přírodní erozí (MOSTAFA et al., 2009).

Analýza tkání

Před samotnou analýzou je potřeba jednotlivé vzorky upravit. Postup úpravy a následné analýzy vzorku byl ve všech zahraničních studiích podobný. Vzorky se nejprve důkladně očistily od epifytických rostlin a jiných nečistot. Poté je bylo potřeba na 24 hodin umístit do filtrované mořské vody, aby organismy mohly vyloučit zbytky částic přítomných v plášti dutiny a zažívacím traktu. Následně vzorky byly opatrně otevřeny odřezáním přitahovacího svalu plastickou stěrkou a jemné tkáně byly vyjmuty. Některé vzorky, které byly příliš velké pro individuální analýzu, byly rozděleny na 2 nebo více částí a zpracovány odděleně (CARDELLICCHIO et al., 2008).

Odebrané vzorky jemné tkáně byly pro analýzu všech kovů, kromě rtuti, vysušeny na konstantní hmotnost v peci při 60°C a skladovány v polypropylenových nádobkách, které byly předem vyčištěny. Vzhledem k relativně vysoké nestálosti rtuti, analýzy byly prováděny spíše na mokrých než suchých vzorcích tkáně. Všechny tkáňové vzorky byly analyzovány na stopové kovy obvyklou mokrou oxidační procedurou v horkých minerálních kyselinách (COSSON, 2008).

Pro zjištění rtuti, byl do 125 ml Erlenmeyerovy baňky přesně navážen 1 g mokré tkáně, který se nechal odstát přes noc v 10 ml smíchané koncentrované kyselině dusičné

a sírové, která byla smíchána v poměru 2:1. Následující den byl ochlazený obsah zahřán na 100°C v lázni vroucí vody po dobu 3 hodiny. Každá baňky byla volně přikryta teflonovou zátkou, aby se napomohlo správnému vyloučení nepotřebných kontaminantů. Po ochlazení byl obsah doplněn na požadované množství deionizovanou vodou (cca.75ml) a analyzován plamenovou atomovou absorpční spektrofotometrií (AAS) (COSSON, 2008).

Pro ostatní kovy byly přesně naváženy 1 g a 3 g vzorků vysušených tkání do baněk. Do každé z baněk bylo přidáno přibližně 10ml koncentrované kyseliny dusičné. Poté se baňky nechaly odstát při pokojové teplotě přes noc. Následující den se obsahy postupně zahřívaly na 100±5 °C a nechaly se na 2-3 dny odstát. Když se roztoky vypařily do sucha, byla opět přidána kyselina, která byla nezbytná k dokončení loužení. Nakonec byl obsah doplněn na požadovaný objem 10% kyselinou dusičnou (10ml/g tkáňové váhy) a analyzován atomovou absorpční spektrofotometrií. Slepé vzorky byly upraveny samostatně (DENTON et al., 2006).

Analýza pomocí CRM 278R

Všechny členské státy Evropské unie mají směrnice, které stanovují kvalitu vodního a mořského životního prostředí a mnoho předpisů o kterých bylo rozhodnuto Evropskou radou jako, např. udržení v dobré kvalitě zdroje pitné vody (75/440/CEE, 79/869/CEE, 80/778/CEE), podzemní vody (80/68/CEE, 91/676/CEE) nebo ochrana ryb (78/659/CEE). Kvalita vodního a mořského životního prostředí může být monitorována analyzováním vody, ale při tom mohou vzniknout rozsáhlé chyby kvůli nízkému obsahu znečišťujících látek jako třeba stopových kovů nebo organických sloučenin.

Nicméně, vodní monitoring je často hodnocen jako nedostatečný, protože analýzy vodního vzorku poskytují pouze koncentraci v okamžiku vzorkování. Celkové znečištění po delší časové období, včetně vrcholu koncentrace, a jeho účinku na absorpci živými organismy, může být zjištěna jen měřením integrovaných obsahů v organismech žijících v konkrétním životním prostředí.

Za účelem vylepšení kvality monitorovací práce se Evropská komise rozhodla v 80 letech potvrdit skupiny podkladových materiálů pro často analyzované indikační organismy nebo materiály, které byly vybrány k přesnému studiu cesty znečišťující látky napříč vodním a mořským životním prostředím. Ověřený podkladový materiál je důkazem obsahu těžkých kovů v tkáních slávek (LAMBERTY et al., 2004).

5.3 Bioakumulace v tělech sladkovodních měkkýšů

Absorpce kovů sladkovodními měkkýši je komplexní kvůli zvýšeným počtům vzájemných vztahů, které se mohou vyskytovat mezi kovy životního prostředí, stejně jako rozpuštěné a nerozpuštěné látky.

Množství kovů absorbovaných měkkýši záleží na vlastnostech kovu, fyziologii druhu, podmínkách vodního sloupce a sedimentové fázi životního prostředí. Pokud jde o podmínky vodního prostředí, faktory jako tvrdost, zásaditost, pH, salinita, vodivost, celkové množství rozpuštěných tuhých látek a přísun znečištění z lidské činnosti, mohou ovlivnit chování kovu. Absorpce kovů v měkkýších je ovlivněna početnými faktory včetně rozmnožovacího stavu organismu, potravní strategie, délky, váhy a věku organismu, zdrojů potravy a schopností asimilace a absorpce. Sladkovodní měkkýši bioakumulují oba druhy kovů, jak esenciální (např. Ca a Na) tak neesenciální (např. Hg, Cd nebo Pb), ve vysokých úrovních ve svých tkáních. To může mít často za následek koncentrace, které jsou významně vyšší než koncentrace přítomné ve vodním sloupci a mohou působit toxicky jak na měkkýše, tak i na jejich predátory, jako jsou vodní ptáci nebo suchozemští savci. Kovy jsou měkkýši absorbovány pomocí difúze, aktivního transportu nebo endocytózou (FARRIS et al., 2007).

Některé neesenciální kovy, jako kadmium, se mohou spojit s vápníkem nebo sodíkem pomocí kanálků, vytvořených pro absorpci kovů esenciálních a k regulaci osmotické/iontové rovnováhy. V přítomnosti zvýšené koncentrace rozpuštěných těžkých kovů udrží měkkýši své chlopně zavřené na dlouhé časové období a zpomalí srdeční aktivitu (DALLINGER et al., 1993).

Akumulace kovů probíhá hlavně přes žábry, ačkoliv k dodatečné absorpci může dojít přes trávicí trakt z částí přijaté potravy, povrchem těla, ledvinami, nohou nebo hepatopankreasem. Procento kovu, které je přijato z celkového načerpaného množství vody se nazývá absorpční efektivita (α). Procento přijatého kovu, které překročí střevní výstelku se nazývá asimilační efektivita (AE) a závisí na mnoha faktorech včetně délky časového intervalu vyžadovaného pro zpracování daného typu částic, koncentraci kovu spojeného s částicemi a tempu příjmu organismem. Absorpce se může významně lišit v tom, pokud je studován jen samostatný kov nebo směs kovů (FARRIS et al., 2007).

Druhy využívané k monitoringu

Biomonitoring je součástí hodnocení všech typů vodního prostředí. Využití vodních měkkýšů pro biomonitoring je ovlivněno volbou vhodných terénních a vyhodnocovacích metod. Mezi hlavní faktory ovlivňující výskyt a rozšíření vodních měkkýšů u nás řadíme hlavně nadmořskou výšku, reliéf a geologickou stavbu území (BERAN, 2002). Jednotlivé druhy vodních měkkýšů se mohou různou měrou lišit v ekologických nárocích na obývaná stanoviště.

Mezi sladkovodní druhy měkkýšů nejčastěji používaných k monitoringu znečištění vod těžkými kovy patří druhy z čeledi velevrubovití, slávičkovití a praménkovití. Dalšími používanými druhy jsou např. pískařka věžovitá (*Melanoides tuberculata*), levatka ostrá (*Physa acuta*) nebo uchatka toulavá (*Radix peregra*).

Některé druhy z jmenovaných čeledí si popíšeme níže.

Řád: Eulamellibranchiata, Čeleď: Velevrubovití (Unionidae)

Čeleď Unionidae můžeme nalézt na všech kontinentech kromě Antarktidy. Velevrubovití tráví většinu svého života částečně nebo celkově zahrabáni v bahně, písku nebo šterku, ale své tělo mají stále ukryté pod vodou. Velká většina druhů je nacházena v potocích, ale mohou se vyskytovat i v rybnících nebo jezerech. Přestože mohou být nalezeni skoro ve všech typech substrátu, obvykle chybí nebo se vyskytují vzácně v oblastech pohyblivého písku nebo hlubokých nánosů bláta (STURM et al., 2006).

Velevrubovití se živí filtrováním potravy z vody a jsou schopni přefiltrovat okolo jednoho litru vody za 45 minut. Složení potravy není příliš známo. Ale bylo prokázáno, že se částečně skládá z organických zbytků nebo mikroskopických rostlin a zvířat (prvoci, vířníci, rozsivky nebo zelené řasy) rozptýlených ve vodě.

Velevrubovití této dosahují dlouhověkosti. Mnoho druhů se dožívá věku 10 let a více, některé záznamy hovoří dokonce o jedincích starých 100 let. Druhy s tenkostěnnou lasturou rostou rychleji, ale obvykle žijí kratší dobu než druhy s lasturami silnějšími.

Jsou důležitým potravním zdrojem mnoha zvířat včetně ondatr, norků, vyder, ryb a některých ptáků. Obrovské hromady lastur, které byly čerstvě zkonsumovány, se nazývají „smetiště“. Obsahují širokou škálu druhů a proto jsou jedním z nejlepších míst ke sběru lastur (STURM et al., 2006).

velevrub malířský (*Unio pictorum*)

Lastury tohoto druhu jsou mírně silnostěnné, protáhle, vpředu a uprostřed nadmuté, v zadní části klínovitě zúžené. Výška je dvojnásobně přesahována délkou. Dopředu vysunutá přední část má vyvinutý štítek, který tvoří zaoblený roh. Zámkové zuby jsou u tohoto druhu přítomny a jsou poměrně silné (HUDEC, 2007).

Typické zbarvení je olivově nebo hnědavě žluté s úzkými a tmavými přírůstkovými pásy, bez paprsků. Dosahuje velikosti okolo 14 cm.

Preferuje klidné vody, proto obývá řeky, tůně, nádrže, potoky nebo rybníky v nížinách. V Evropě vytváří několik poddruhů a na východě je rozšířen až po povodí Uralu a na Kavkazu (PFLEGER, 1988).

Čeled': Slávičkovití (*Dreissenidae*)

slávička mnohotvárná (*Dreissena polymorpha*)

Schránka slávičky je trojhranně člunkovitá, silnostěnná, pevná, neprůsvitná, v mládi lesklá. Přírůstkové rýhy jsou ve vrchní části jemné, směrem k okraji nepravidelnější, hrubé a drsné (STURM et al., 2006). Zámek nemá zuby.

Společně s velevrubem malířským hrají důležitou roli ve sladkovodních ekosystémech. Jsou schopni redukovat obrovská množství fytoplanktonu jejich velkou filtrační aktivitou a jsou hlavním zdrojem potravy pro potápějící se kachny a některé ryby (DALLINGER et al., 1993).

Barva starších částí lastur je žlutošedá s tmavohnědými obloučkovitými a klikatými čarami a proužky. Mladší hrubší části jsou zbarvené do tmavě hnědé. Dosahují obvykle velikosti okolo 4 cm (HUDEC, 2007).

Obývá větší řeky a jejich ramena a jezera. Vyskytuje se i v brakických vodách, kde žije připevněná na kameny nebo pohyblivé předměty (čluny, vory). Původní oblastí výskytu byly řeky černomořské a kaspické oblasti. Dnes na ní můžeme narazit i v řekách střední a západní Evropy (PFLEGER, 1988).

Řád: *Mesogastropoda*, Čeleď: Praménkovití (*Hydrobiidae*)

bahnivka rmutná (*Bithynia tentaculata*)

Ulita je vejčité kuželovitá, tenkostěnná, jemně a nepravidelně příčně a podélně rýhovaná, průsvitná. Ústí ulity je šikmé, vejčité s tupým rohem nahoře. Obústí je slabě rozšířené a tupé s tmavým okrajem. Uzavírací víčko je nahoře špičaté (ALTMAN, 1984).

Typické zbarvení je světle hnědé. Ulita je velmi často potažena neprůhledným nánosem. Dosahuje velikosti asi 1,5 cm.

Bahnivka žije ve stojatých a tekoucích vodách nižších poloh. Nejhojněji se vyskytuje na kamenech při březích řek. Je rozšířena po celé Evropě kromě jižního Řecka a severní Skandinávie (STURM et al., 2006).

Řád: *Basommatophora*, Čeleď: Levatkovití (*Physidae*)

levatka ostrá (*Physa acuta*)

Levatka má špičatě vejčitou, tenkostěnnou, poměrně pevnou, průhlednou a lesklou ulitu. Má 5-6 slabě klenutých závitů. Ústí je opačně uchovité (PFLEGER, 1988).

Typické zbarvení je v odstínech žluté až hnědé. Dosahuje velikosti okolo 1,5 cm. Levatka patří mezi nejrychlejší plže (ALTMAN, 1984).

Obývá stojaté a mírně tekoucí vody. Je rozšířená po celém Středomoří, v západní a střední Evropě, ale může se vyskytovat i na Kavkazu (HUDEC, 2007).

5.4 Bioakumulace v tělech suchozemských měkkýšů

Suchozemskými měkkýši jsou myšleni především suchozemští plži.

Množství vlhkosti, nadmořská výška, topografie, typ hornin, skladba půdy a druhy stromů jsou některými vzájemně závislými faktory, které ovlivňují rozšíření plžů složitými způsoby.

Suchozemští plži se mohou vyskytovat ve dvou různých stavech, a to buď pohyblivém nebo kolonizačním. Pohyblivé druhy leží na slizu, obsahujícím vodu, po kterém se pohybují, odhalují svou kůži potencionálně vysušujícím účinkům atmosféry a zvyšují svou ztrátu vody přes plášťovou dutinu kvůli nutnosti výměny plynů. Druhy bez ulity jsou nejvíce zranitelné a více vody spíše ztratí přes pokožku než v moči. Zatímco

kolonizační suchozemští plži mají rozvinuté pasivní mechanismy, které šetří vodu a chrání jejich vlhký povrch před vysušujícími podmínkami vyhýbáním se teplotním extrémům a snížením plynové výměny.

Využití suchozemských plžů jako bioindikátorů bylo zatím omezeno hlavně na znečištění suchozemského ekosystému kovy. Mnoho druhů plžů dokáže koncentrovat stopové prvky ve svých tkáních díky výkonným mechanismům, které mají. Proto je konečná koncentrace kovu obsažená v tělech plžů výsledkem procesu akumulace, která vyžaduje absorpci kovu, jeho skladování a odstranění.

Druhy, které akumulují kov daleko nad koncentrace v životním prostředí se nazývají „makrokoncentrátoři“, zatímco druhy kumulující stopové kovy ve stejných poměrech k úrovním životního prostředí nebo pod úrovní označujeme jako „mikrokoncentrátoři“.

Koncentrace kovů v lesním humusu, kterým se plži živí, se může projevit vysokým stupněm proměnlivosti, pravděpodobně kvůli různým stavům rozkladu. Další faktory, které nepříznivě ovlivňují kvantitativní bioindikace v tkáních plžů, závisí na jejich velikosti těla, druhově-specifických vlastnostech v akumulaci kovu, sezónních faktorech a teplotě.

Suchozemští plži byli použiti jako biologičtí indikátoři životního prostředí znečištěného kovovými kontaminacemi s dosti velkým úspěchem. Hlemýždi jsou pravděpodobně více vhodné pro účel monitoringu než slimáci. To vysvětluje skutečnost, že každé blízce příbuzné druhy slimáků mohou ukázat velké vnitrodruhové a mezidruhové proměnlivosti v jejich zatížení těla kovem a tak poskytnou správné vysvětlení složitěji. I přes to, se některé druhy slimáků, jako např. plzák černý (*Arion ater*), ukázali být vhodnými živočichy pro biomonitoring v půdách kovem kontaminovaných ekosystémech.

Na jeden hlavní problém se, ale při užívání suchozemských plžů jako biologických indikátorů, naráží. Jde o zřejmý nedostatek významných vzájemných vztahů mezi koncentracemi kovu v tkáních plžů a koncentracemi příslušného kovu v rostlinách nebo hrabance po které se živočichové pohybují. Tato absence vztahů, může být vysvětlena typem potravy, kterou živočich zkonsumoval před tím, než byl sebrán a volitelností ve výběru potravy, kterou prokázalo mnoho druhů plžů. Přesné určení zdroje potravy je důležité vzhledem k variabilitě kovových koncentrací v různých rostlinných druzích nebo v humusovém substrátu.

Částečně kvantitativní přístup k využití suchozemských plžů jako bioindikátoru kovové koncentrace, byl poskytnut Bergerem a Dellingerem (1993). Koncentrace kadmia, olova, mědi a zinku byla nejprve změřeny v jedincích druhu plamatka lesní (*Arianta arbustorum*), nasbíraných v rozdílných městských a venkovských oblastech, které byly známy svým znečištěním kovy. Výsledek z datových souborů byl pak srovnán se všemi dostupnými daty o koncentraci kovů v druzích suchozemských plžů z mnoha míst Evropy. Byly prokázány tři rozdílné třídy kontaminace životního prostředí kadmiem, zinkem a olovem. Ty odpovídaly neznečištěným oblastem (třída 1), oblastem mírně znečištěným splodinami z dopravy nebo městskými emisemi (třída 2) a silně znečištěné oblasti těžební činností nebo kovodělnickým průmyslem.

Biomonitoring suchozemských plžů může být vylepšen citlivějším přístupem, využívajícím pouze tkáň plžů místo celých preparací živočichů pro analýzy kovů (BARKER, 2001).

Druhy využívané k monitoringu

Suchozemští plži zastupují druhy vzniklé mnohonásobnými invazemi mořských předků na zem. Plícnatí jsou nejúspěšnější skupinou sladkovodních plžů, co do počtu druhů a rozmanitosti přirozeného prostředí. Plícnatí jsou zřejmě monofylickou (mající společný původ) skupinou, zatímco předožábří jsou polyfylickou skupinou plžů, tzn. že mají původ z více nezávislých vývojových linií.

Plícnatí plži jsou hermafroditi, což znamená, že jeden jedinec má obě pohlaví. Předožábří jsou pohlaví odděleného.

Systellommatophora je jeden z podřádu plícnatých a nejčastěji se jedná o tropické slimáky. Slimáci se vyvinuli z hlemýžďů, jen s tím rozdílem, že se ulita přeměnila na jednu plochou miskou (např. čeleď *Limacidae*), několik vápenatých zrnků (např. čeleď *Arionidae*) nebo chybí úplně (např. čeleď *Philomycidae*). Existují také poloslimáci, což jsou jedinci mezi hlemýžďem a slimákem. Mají vnější ulitu, která je ale příliš malá, aby se do ní živočich zasunul. Nejvíce druhů žije v tropických oblastech (STURM et al., 2006).

K používaným druhům pro monitoring patří např. plzák černý (*Arion ater*) z čeledi Arionidae nebo plamatka lesní (*Arianta arbustorum*) z čeledi Helicidae. Oba zmíněné druhy si popíšeme níže.

Řád: *Pulmonata*, Čeleď: Plzákovití (*Arionidae*)

plzák černý (*Arion ater*)

Hlavní částí těla plzáka je jeho svalnatá noha, která je svalnatá a krytá hlenem (slizem). Hlen mu umožňuje pohyb po podkladu. Na vrchní straně jeho těla je zrnitý plášť, ve kterém se nachází dýchací otvor. Plášť ukrývá všechny životně důležité orgány. Typickým zbarvením je černá. Dosahuje velikosti okolo 13 cm (DOBRORUKA, 1984).

Plzáci jsou aktivní především v noci, kdy se vydávají za potravou. Živí se hlavně rozkládajícími se zbytky rostlin a živočichů. Jsou všežravci.

Absencí ulity nejsou vázáni na vápníkem bohaté prostředí, proto se mohou vyskytovat na písčitých půdách nebo v močálech. Je rozšířen po celé Evropě a druhotně v Severní Americe (PFLEGER, 1999).

Řád: *Stylommatophora*, čeleď: Hlemýžďovití (*Helicidae*)

plamatka lesní (*Arianta arbustorum*)

Má kulovitou ulitu s tupě kuželovitým kotoučem, která je tenkostěnná, pevná, mírně průsvitná, s jemně nepravidelným rýhováním. Ústí ulity je šikmé, velmi krátké, téměř okrouhlé (PFLEGER, 1999).

Zbarvení je kaštanově hnědé s mnoha slámově žlutými skvrnkami. Velikost plamatky se pohybuje okolo 2,5 cm, ale může menší jedinci s mohou vyskytovat ve vysokých horách nebo na kyselém podkladu (STURM et al., 2006).

Obývá hlavně vlhké lesy různých druhů a může se vyskytovat až ve výškách 2 700 m. Nenalezneme jí na bezlesných stepních plošinách nebo suchých pahorkatinách. Plamatka je rozšířena po celé severozápadní a střední Evropě a v Karpatech (HUDEC, 2007).

6 DISKUZE

Pro svou bakalářskou práci jsem čerpala především ze zahraničních zdrojů, protože vědecké výzkumy, týkající se bioakumulace v tkáních měkkýšů, u nás nejsou doposud prováděny v tak širokém měřítku jako v zahraničí. Při překladu cizojazyčných textů a jiné odborné literatury jsem se setkala s mnoha novými pojmy, které v češtině ještě nejsou tak rozšířeny, jako např. biomagnifikace nebo biomonitor.

Z přeložených studií jsem vyrozuměla, že přítomnost těžkých kovů v životním prostředí, je až na malé výjimky, způsobena výhradně lidskou činností. Kontaminaci vod, jak mořských tak sladkovodních, způsobuje především vypouštění neupravených odpadních vod z průmyslu a zemědělství, a rovněž z domácností. Právě toxicita těžkých kovů má velmi škodlivé účinky nejen na organismy, přijímající znečišťující látky z okolního prostředí do svého těla, ale také na celé životní prostředí.

Pravidelnou monitorovací činností se můžou zachytit různé změny v životním prostředí a tím se může určit problém ve studovaném ekosystému. Změny se mohou lišit u každého bioindikačního druhu.

Z některých odborných článků jsem se dozvěděla např. různé metody analýzy, které se prováděly pro určitý kov nebo způsoby, jakými byly typické druhy měkkýšů pro danou oblast odebírány a ukládány, aby byly reprezentativním vzorkem pro následnou analýzu tkání. Popis nebyl vždy pro laika, a tedy i mě, srozumitelný, a proto jsem se rozhodla, toto do své práce nezařadit.

Pro kapitulu o suchozemských měkkýších neexistuje mnoho výzkumů. Čerpala jsem pouze z odborné literatury přímo o suchozemských plžích, kde byla o bioakumulaci alespoň nějaká zmínka.

Mezi nejčastěji využívané druhy pro biomonitoring, o kterých jsem četla v přeložených textech, patří: z mořských druhů např. slávka jedlá, slávka středomořská nebo ústřice velká, ze sladkovodních druhů to je např. slávička mnohotvárná nebo bahnivky rmutná a ze suchozemských zde můžeme zařadit plzáka černého nebo plamatku lesní.

Ve své práci jsem upřednostnila spíše vodní druhy měkkýšů před suchozemskými, protože jejich dalším výzkumem bych se chtěla zabývat v navazujícím studiu.

7 ZÁVĚR

Problematika výskytu těžkých kovů v životním prostředí a jejich možný škodlivý účinek toxicity na živé organismy není v dnešní době ničím novým. Ve své práci jsem chtěla ukázat na možnosti využití mořských, sladkovodních a suchozemských měkkýšů jako biologických indikátorů znečištění životního prostředí právě těžkými kovy. Poukázat na jejich výhody a nevýhody využití a na vlastnosti, které by měl ideální bioindikátor mít. Rovněž jsem chtěla vyzdvihnout některé druhy měkkýšů, které jsou v oblasti biomonitoringu nejvíce využívány a pokusit se vysvětlit, čím se biomonitoring vlastně zabývá.

Těžké kovy jsou charakteristické svou schopností bioakumulace v tkáních různých druhů měkkýšů. Co bioakumulace vlastně je a jakými faktory je ovlivňována, jsem se snažila popsat v závěrečné hlavní kapitole.

Informace pro svou práci jsem čerpala hlavně z cizojazyčných článků a jiné zahraniční odborné literatury.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ABEL, P.B. 1996: *Water pollution biology*. Londýn : Tylor and Francis Ltd., 286 pp.

ALTMAN, A. 1984: *Mořská fauna a flóra*. Praha : Albatros, 303 pp.

LOVEJOY, B.D. Heavy metal concentrations in water, sediments and mollusc tissues. *Acta Zoologica Lituanica*. [online]. 1999, 9, [cit. 2010-03-20]. Dostupný z WWW: <www.md1.csa.com>.

BAYNE, B.L. 1976: *Marine mussels, their ecology and physiology*. Cambridge : Cambridge University press, 506 pp.

BEEK, B. 2000: *Bioaccumulation: new aspects and developments*. Berlin : Springer, 628 pp.

BERAN, L. Vodní měkkýši české republiky. *Sborník přírodovědného klubu v Uherském Hradišti, i Supplementum 10*. 2002, 258 pp.

BERGER, B., DALLINGER, R. Terrestrial snails as quantitative indicators of environmental metal pollution . *Environmental monitoring and assessment* [online]. 1993, 25, [cit. 2010-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.springerlink.com/content/q17v57458t65hr22/>>.

BARKER, G.M. 2001: *The biology of terrestrial molluscs*. UK : CABI Publishing, 524 pp.

BESADA, V., ANDRADE, J.M., SCHULTZE, F., FUMEGA, J., CAMBEIRO, B., GONZÁLEZ, J.J. Statistical comparison of trace metal concentrations in wild mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in selected sites of Galicia and Gulf of Biscay (Spain). *Journal of Marine Systems* [online]. 2008, 72, [cit. 2010-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>.

BUCHAR, J. 1995: *Klíč k určování bezobratlých*. Praha : Scientia, 285 pp.

BLACK, D. 1988: *Zázraky ve světě zvířat*. Praha: Albatros, 207 pp.

BRUYNE, H. 2004: *Encyklopedie ulit a lastur*. Dobřejovice: Rebo Production CZ, 336 pp.

CARDELLICCHIO, N., BUCCOLIERI, A., DI LEO, A., GIANDOMENICO, S., SPADA, L. Levels of metals in reared mussels from Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern

Italy). *Food Chemistry* [online]. 2008, 107, [cit. 2010-03-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>.

COLDREY, J. 1993: *Měkkýši*. Bratislava : Slováry, 59 pp.

CONTI, M.E., CECCHETTI, G. A biomonitoring study: trace metals in algae and molluscs from Tyrrhenian coastal areas. *Environmental Research* [online]. 2003, 93, [cit. 2010-04-04]. Dostupný z WWW: <www.sciencedirect.com>.

CONTI, M.E. 2008: *Biological monitoring: theory and applications: bioindicators and biomarkers*. Southhampton : WIT Press, 228 pp.

COSSON, R.N., THIÉBAUT, É., COMPANY, R., CASTREC-ROUELLE, M., COLACO, A., MARTINS, I., SARRADIN, P.M., BEBIANNO, M.J. Spatial variation of metal bioaccumulation in the hydrothermal vent mussel *Bathymodiolus azoricus*. *Marine Environmental Research* [online]. 2008, 65, [cit. 2010-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>.

DALLINGER, R., RAINBOW, P.S. 1993: *Ecotoxicology of metal in invertebrates*. USA : SETAC, 469 pp.

DANCE, S.P. 2006: *Uility a lastury*. Praha : Knížní klub, 256 pp.

DAVIS, W.S. *U.S.EPA* [online]. 2007 [cit. 2010-04-01]. Indicator Species. Dostupné z WWW: <<http://www.epa.gov/bioindicators/html/indicator.html>>.

DENTON, G.R.W, CONCEPCION, L.P, WOOD, H.R., MORRISON, R.J. Trace metals in marine organisms from four harbours in Guam. *Marine Pollution Bulletin* [online]. 2006, 52, [cit. 2010-04-01]. Dostupný z WWW: <www.sciencedirect.com>.

DILLON, R.T. 2000: *The ecology of freshwater Molluscs*. Cambridge : Cambridge University press, 532 pp.

DOBRORUKA, L., KNOTEK, J., KNOTKOVÁ, L., ROB, P. 1984: *Pestrá příroda*. Bratislava : Mladé léta, 319 pp.

DRAGGAN, S. *Encyclopedia of Earth* [online]. 2008 [cit. 2010-04-11]. Biomonitoring. Dostupné z WWW: <<http://www.eoearth.org/article/Biomonitoring>>.

FARRIS, J.L., VAN HASSEL, J.H. 2007: *Freshwater bivalve ecotoxicology*. USA : SETAC, 375 pp.

- HAYWARD, P., NELSON-SMITH T., SHIELDS C.** 2006: *Živočichové a rostliny evropského pobřeží*. Praha : Svojtka a Co., s.r.o., 352 pp.
- HENDOŽKO, E., SZEFER, P., WARZOCHA, J.** Heavy metals in *Macoma balthica* and extractable metals in sediments from the southern Baltic Sea. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2010, 73, [cit. 2010-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>.
- HUDEC, K., KOLIBÁČ, J., LAŠTŮVKA, Z., PEŇAZ, M.** 2007: *Příroda České republiky – průvodce faunou*. Praha: Academia, 439 pp.
- JURSÍK, F.** 2002: *Anorganická chemie*. Praha : VŠCHT Praha, 136 pp.
- JUŘIČKOVÁ, L.** Měkkýši [Online] Kučera T. (ed.): Červená kniha biotopů. Aktualizace 2005 [cit 2010-04-10]. Dostupné z: <<http://www.usbe.cas.cz/cervenakniha.cz>>
- KENNISH, M.J.** 1992: *Ecology of estuaries: Anthropogenic effects*. USA : CRC Press LLC, 494 pp.
- KVASNIČKOVÁ, A.** *Agronavigátor* [online]. 2010 [cit. 2010-04-05]. Zvýšený úhyn ústřic *Crassostrea gigas*. Dostupné z WWW: <<http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=0&ch=14&typ=1&val=99461>>.
- LAMBERTY, A., MUNTAU, H.** 2004: *The certification of the mass fraction of As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Se and Zn in mussel tissue (mytilus edulis) : CRM 278R*. Belgie. 52 pp.
- LOŽEK, V.** 1956: *Klíč československých měkkýšů*. Bratislava : SAV, 425 pp.
- MAANAN, M.** Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. *Environmental Pollution* [online]. 2008, 153, [cit. 2010-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>.
- MAŇAS, M.** *Web o měkkýších* [online]. 2005 [cit. 2010-04-11]. Ekologie měkkýšů. Dostupné z WWW: <<http://www.mollusca.cz/malakologie/ekologie.htm>>.
- MERGL, M.** *BioLib - Biological Library* [online]. 2006 [cit. 2010-04-11]. Měkkýši. Dostupné z WWW: <<http://www.biolib.cz/cz/taxon/id2441/>>.
- MOSTAFA, A.R., AL-ALIMI, A.K.A., BARAKAT, A.O.** Metals in surface sediments and marine bivalves of the Hadhramout coastal area, Gulf of Aden, Yemen. *Marine*

pollution Bulletin [online]. 2009, 58, [cit. 2010-03-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>.

PHILLIPS, D.J.H., RAINBOW, P.S. 1994: *Biomonitoring of trace aquatic contaminants*. Oxford : Chapman and Hall, 362 pp.

REMY, H. 1971: *Anorganická chemie - I. a II.díl*. Praha : SNTL, 934 pp.

RUANGWISES, N., RUANGWISES, S. Heavy metals in green mussels (*Perna viridis*) from the Gulf of Thailand. *Journal of Food Protection* [online]. 1998, 61, [cit. 2010-03-29]. Dostupný z WWW: <www.ingentaconnect.com>.

RULÍK, M. *Katedra ekologie a životního prostředí PřF UP v Olomouci* [online]. 2007 [cit. 2010-04-05]. Aplikovaná hydrobiologie - Bioindikace kvality vodního prostředí. Dostupné z WWW: <ekologie.upol.cz/ku/ahdo/Bioindikace.pdf>.

SARKAR, B. 2002: *Heavy metals in the environment*. New York : Marcel Dekker, 725 pp.

SIEGEL, A., SIEGEL, H., SIEGEL, R.K.O. 2005: *Biogeochemistry, availability and transport of metals in environment*. USA : Science, 298 pp.

SHARMA, P.D. 2008: *Ecology and Environment*. Meerut : Rastogi publication, 652 pp.

SOOD, P.P., PRAKASH, R. 1998: *Heavy metals pollution, Toxication and Chelation*. New Delhi : Medical, 387 pp.

SPELLERBERG, I.F. 1995: *Monitorování ekologických změn*. Brno : ČÚOP-VaMP, 187 pp.

STURM, C.F., PEARCE, T.A., VALDES, A. 2006: *The mollusks: a guide to their study, collection and preservation*. USA : Universal Publisher, 445 pp.

VAČKÁŘ, D., LOŽEK, V. 2005: *Ukazatele změn biodiverzity*. Praha : Academia, 300 pp.

VOHLÍDAL, J., ZEMÁNEK F., PROCHÁZKA K. 1988: *Obecná a anorganická chemie*. Praha : SNTL, 400 pp.

WALLACE, O. *WiseGeek* [online]. 2005 [cit. 2010-04-10]. What is biomonitoring. Dostupné z WWW: <<http://www.wisegeek.com/what-is-biomonitoring.htm>>.

WEIGEL, S. *Pollution Issues* [online]. 2009-2010 [cit. 2010-04-01]. Bioaccumulation. Dostupné z WWW: <www.pollutionissues.com/A-Bo/Bioaccumulation.html>.

